

**ФІБРОБЕТОНИ З ПОЛІДИСПЕРСНИМ АРМУВАННЯМ
ДЛЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ СПОРУД**

**FIBER-REINFORCED CONCRETE WITH POLYDISPERSE
REINFORCEMENT FOR RESPONSIBLE CONSTRUCTIONS**

**Дворкін Л.Й., д.т.н., проф., Бордюженко О.М., к.т.н., доц.
(Національний університет водного господарства та
природокористування, м Рівне)**

**Dvorkin Leonid, Doctor of Engineering, Professor, Bordiuzhenko Oleh,
Ph.D, Associate professor (National University of Water and Environmental
Engineering, Rivne)**

При будівництві відповідальних споруд, в т.ч. дорожніх, однією з головних характеристик бетону є його деформативність, яка значною мірою визначається співвідношенням міцності на розтяг при згині до міцності при стиску [1]. Вітчизняний та зарубіжний досвід показує, що в таких випадках найчастіше використовуються дисперсно-армовані бетони і, перш за все, сталеві фібробетони [2-5]. Серед зарубіжного досвіду слід виділити застосування фібробетонів в дорожньому і тунельному будівництві, будівництві морських платформ і гребель, а також в облаштуванні підлог промислових будівель, терміналів і т.п. [6-7].

Як правило, використання дисперсного армування передбачає варіант моноармування, при якому керування властивостями бетону до певної міри обмежене, тоді як полідисперсне або композиційне дисперсне армування (армування одночасно декількома видами волокон з різними характеристиками) дає можливість управляти широким комплексом властивостей в одному композиційному матеріалі [8].

Метою даної роботи було дослідження впливу параметрів складу фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням на технологічні властивості сумішей а також параметри структури та міцнісні властивості.

Для визначення можливості одержання полідисперсно-армованого фібробетону з використанням сталеві та базальтової фібри із забезпеченням рівномірності їх розподілу в одержуваній структурі, були виготовлені серії фібробетонних зразків. За базовий був прийнятий наступний склад дрібнозернистого бетону: поргланццемент – 500 кг/м³, відношення заповнювача (щебінь фракції 2...5 мм : пісок = 0,55:0,45) до цементу складало 3,6 до 1 (за масою). В/Ц суміші складало 0,35. Необхідна рухомість суміші 13...15 см досягалася за рахунок введення добавки полікарбоксилатного суперпластифікатора Melflux 2651f.

Використовували сталеву фібру хвилястого профілю (довжина 60 мм, діаметр 1 мм) в кількостях 80 і 120 кг/м³ бетону. Для отримання

поліармованої композиції використовували модифіковану базальтову фібру ТзОВ "Технобазальт-Інвест" (м. Київ) довжиною 12 та 24 мм, виготовлену з базальтового ровінгу, при цьому її вміст у фібробетоні змінювався в межах від 0 до 6 кг/м³.

Введення базальтової фібри позитивно впливає перш за все на міцність на розтяг при згині. Міцність на розтяг при згині у віці 7 діб ($f_{c,tf}^7$) фібробетону контрольного складу при витраті сталеві фібри 80 кг/м³ становила 10,3 МПа, а максимальне її значення для композиційного фібробетону з базальтовою фіброю становила 12,4 МПа (при витраті 4 кг/м³ та довжині волокон 12 мм). Середнє збільшення міцності на розтяг при згині в залежності від довжини волокна та його вмісту склало від 7 до 20 %.

При витраті сталеві фібри 120 кг/м³ ($f_{c,tf}^7$) фібробетону контрольного складу склало 13,3 МПа, а максимальне її значення для композиційного фібробетону становила 14,9 МПа (при витраті базальтової фібри 4 кг/м³ та довжині волокон 12 мм). Таким чином, максимальне зростання міцності склало 12%. Менше зростання міцності в цьому випадку очевидно можна пояснити досягненням значень загального об'ємного вмісту волокон, що відповідають максимально можливому вмісту.

Використання базальтової фібри з довжиною волокон 24 мм в цілому показало гірші результати. Зафіксоване збільшення $f_{c,tf}^7$ на 7% лише при вмісті цих волокон 2 кг/м³ (при витраті сталеві фібри 80 кг/м³). При збільшенні вмісту базальтової фібри зафіксоване максимальне падіння міцності на 40 %. Зменшення міцності фібробетону, що спостерігається при збільшенні довжини використовуваних волокон обумовлено, ймовірно, зменшенням процентного вмісту волокна в площині перетину руйнування і зниженням міцності зчеплення на границі «волокно - цементна матриця». Крім того волокна довжиною 24 мм гірше розподіляються в масиві фібробетону, що позначається в подальшому на особливостях його структури.

Аналіз характеру руйнування композиційного фібробетону, армованого базальтовими волокнами довжиною 12 мм, свідчить, що руйнування бетону відбувається з досить хорошою участю волокон в роботі цементної матриці.

Розглядаючи вплив частки базальтової фібри в загальному об'ємі армування варто відзначити, що її оптимальний вміст складає 2 кг/м³ (частка базальтової фібри в загальному об'ємі армування $n = 0.07$) при витраті сталеві фібри 80 кг/м³ і 2..4 кг/м³ ($n = 0.05...0.09$) при витраті сталеві фібри 120 кг/м³. Подальше збільшення вмісту базальтової фібри очевидно приводить до збільшення питомої поверхні дисперсної арматури, що в свою чергу приводить до збільшення кількості води, необхідної для отримання бетонних сумішей із заданою рухомістю.

Міцність при стиску композиційних фібробетонів, очікувано мало залежить від вмісту базальтової фібри (табл. 1). Для різних композицій

зафіксоване коливання значення міцності в середньому в межах 2...3 % (62...65 МПа).

Таблиця 1

Міцність фіробетонних зразків з різним вмістом та співвідношенням сталевोї та базальтової фібри

Витрата сталевої фібри, кг/м ³	Витрата базальтової фібри, кг/м ³	Загальний вміст волокон за об'ємом, μ , %	Частка базальтової фібри в загальному об'ємі армування, n	Міцність при стиску у віці 7 діб f_{cm}^7 , МПа	Міцність на розтяг при згині у віці 7 діб $f_{c,t}^7$, МПа
Базальтова фібра ($l = 12$ мм)					
80	0	1,03	0,00	64,5	10,3
	2	1,10	0,07	65,2	12,1
	4	1,18	0,13	67,1	12,4
	6	1,25	0,18	66,2	10,2
120	0	1,54	0,00	66,8	13,3
	2	1,61	0,05	66,5	14,8
	4	1,69	0,09	69,2	14,9
	6	1,76	0,13	65,4	11,5
Базальтова фібра ($l = 24$ мм)					
80	0	1,03	0,00	64,5	10,3
	2	1,10	0,07	67,2	11
	4	1,18	0,13	63,1	9,6
	6	1,25	0,18	62,8	6,54
120	0	1,54	0,00	66,8	13,3
	2	1,61	0,05	68,6	13,45
	4	1,69	0,09	63,1	11,94
	6	1,76	0,13	61,7	7,91

Базальтова фібра, яка за густиною та пружними характеристиками близька до бетонної матриці при оптимальній витраті та співвідношенні із сталевую фіброю утворює своєрідний несучий каркас, який утримує сталеву фібру, попереджає розшарування суміші та сприяє рівномірному розподіленню дисперсної арматури в структурі бетону. Все це, відповідно, позначається на міцнісних характеристиках фіробетонів.

Загалом використання композиційного дисперсного армування на противагу моноармуванню лише сталевую фіброю дозволяє суттєво зменшити розшарування бетонних сумішей. Також варто відмітити, що перевага композиційного дисперсного армування проявляється сильніше в

міру зростання тривалості віброущільнення та збільшення витрати сталеві фібри.

Також досліджено особливості порової структури фібробетонів на основі аналізу кінетики водонасичення. Встановлено, що найкращі характеристики пористості (значення коефіцієнта середнього розміру пор та показник однорідності пор за розмірами) проявляють фібробетони з композиційним дисперсним армуванням в присутності суперпластифікаторів. Все це однозначно свідчить про покращення структурних характеристик фібробетону в результаті використання комбінації сталевих та базальтових волокон.

Результати експериментальних досліджень були успішно підтверджені виробничою апробацією шляхом випуску партій бетонних сумішей для виготовлення високоміцних виробів і конструкцій з фібробетонів із полідисперсним армуванням.

Список використаних джерел

1. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Дорофєєв В.С., Мішутін А.В. Гідротехнічні та дорожні бетони. Одеса: Евен, 2012. 214 с.
2. Dvorkin, L., Bordiuzhenko, O., Tekle, B.H.б, Ribakov Y. A method for the design of concrete with combined steel and basalt fiber. *Applied Sciences*. 2021. 11(19): 8850.
3. Dvorkin L., Bordiuzhenko O., Zhitkovsky V., Gomon S., Homon S. Mechanical Properties and Design of Concrete with Hybrid Steel and Basalt Fiber. *E3S Web of Conferences* 264, 02030 (2021).
4. Ефективні види фібробетонів : монографія / Л. Й. Дворкін, А.В.Мішутін, С.О.Кровяков, О.М.Бордюженко, Л.Кінтя. Одеса : ОДАБА, 2021. 249 с.
5. Толмачов, С.М., Беліченко О.А., Дядюшко Р. В., Вплив поліпропіленової фібри X-mesh на властивості дорожнього бетону. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 2021, 198. С. 58-65.
6. Shah A. and Ribakov Y., Recent Trends in Steel Fibered High-Strength Concrete, *Materials and Design*, 2011, 32 (8–9), 4122-4151.
7. Koksal F., Sahin Y., Şahin M. Effect of Steel Fiber Tensile Strength on Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concretes, *ACI Special Publication*, 2012, P. 129-143.
8. Klyuev S.V., Khezhev T.A., Pukharenko Yu.V., Klyuev A.V. Experimental Study of Fiber-Reinforced Concrete Structures. *Materials Science Forum*, 2019, 945. P.115-119.